

DISEÑO, AUSCULTACION E INSTRUMENTACION DE UN TALUD DE DESMONTE DE AUTOPISTA (BENICASIM) FRENTE A ROTURA POR UNA JUNTA DE ESTRATIFICACION

F. ROMAN

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, INTECSA

RESUMEN

Se describe la historia de un talud cercano a Benicasim en la Autopista del Mediterráneo excavado en una roca calcáreo-margosa, de 40 m. de altura máxima que ha sido objeto de una auscultación detallada durante la fase de construcción y a lo largo de cinco años de puesta en servicio.

El talud se ha instrumentado mediante sencillos aparatos de diseño propio con el fin de detectar y medir los posibles deslizamientos a través de juntas de estratificación.

1.- DESCRIPCION DEL DESMONTE

En el tramo comprendido entre Castellón de la Plana y Oropesa de la Autopista Tarragona-Valencia, a la altura del P.K. 414,200, el trazado da lugar a un desmonte en roca - que cubica un volumen de 315.000 m³ y tiene una altura máxima de 40 m. en el lado mar. (Fig. 1).

La Carretera Nacional 340 circula pegada al trazado proyectado y ambos aprovechan un colgado natural entre dos elevaciones orográficas lo que economiza el movimiento de tierras.

Los taludes de desmonte proyectados son - 1H=2V para el lado monte y 2H=5V para el lado mar. En ambos lados se dispone al pie del talud un área de caída de bloques, diseñada siguiendo los criterios de A.M. RITCHIE.

2.- PROYECTO DEL DESMONTE

Para el proyecto se realizó un estudio geológico detallado de la zona, con una campaña de medidas de dirección y buzamientos de las juntas de estratificación y diaclasado.

Asimismo, se perforó un sondeo vertical de 40 m. de longitud, con extracción de testigo, donde se reconoció el estado, calidad y naturaleza de la roca en profundidad.

Se trata de un macizo rocoso cretácico formado por calizas estratificadas en potentes

bancos con intercalaciones de calizas margosas brechoides.

Del estudio estadístico realizado con los buzamientos medidos en distintos puntos de la ladera se deducía un valor medio de unos 30-32°, buzando hacia el Norte, que en los desmontes de la C.N. 340 aumentaba debido a una serie de fracturas y plegamientos subsecuentes, por cuyo eje pasaba dicha carretera. Fig. 2.

En los cortes del lado monte de la C.N. 340 se observa un paquete superior de calizas y margas, alternando en bancos decimétricos - que están cortados con un talud medio de 60° y que en la vertical del desmonte de la autopista no aparecían.

En los del lado mar de la C.N. 340, aparecían las calizas mencionadas estratificadas en bancos potentes, con diaclasas continuas, rectas, abiertas y rugosas. En estas calizas se ha excavado el desmonte de la autopista. El talud del desmonte de la C.N. 340 era del orden de 70° y con alturas máximas de 10-12 m. Se observaba algún bloque caído y una voladura defectuosa y con demasiada carga. Las juntas de estratificación se veían rectas y con una rugosidad importante del orden de varios centímetros, lo que implicaba un elevado ángulo de rozamiento a través de dichos planos. No se apreciaba ningún tipo de relleno arcilloso -

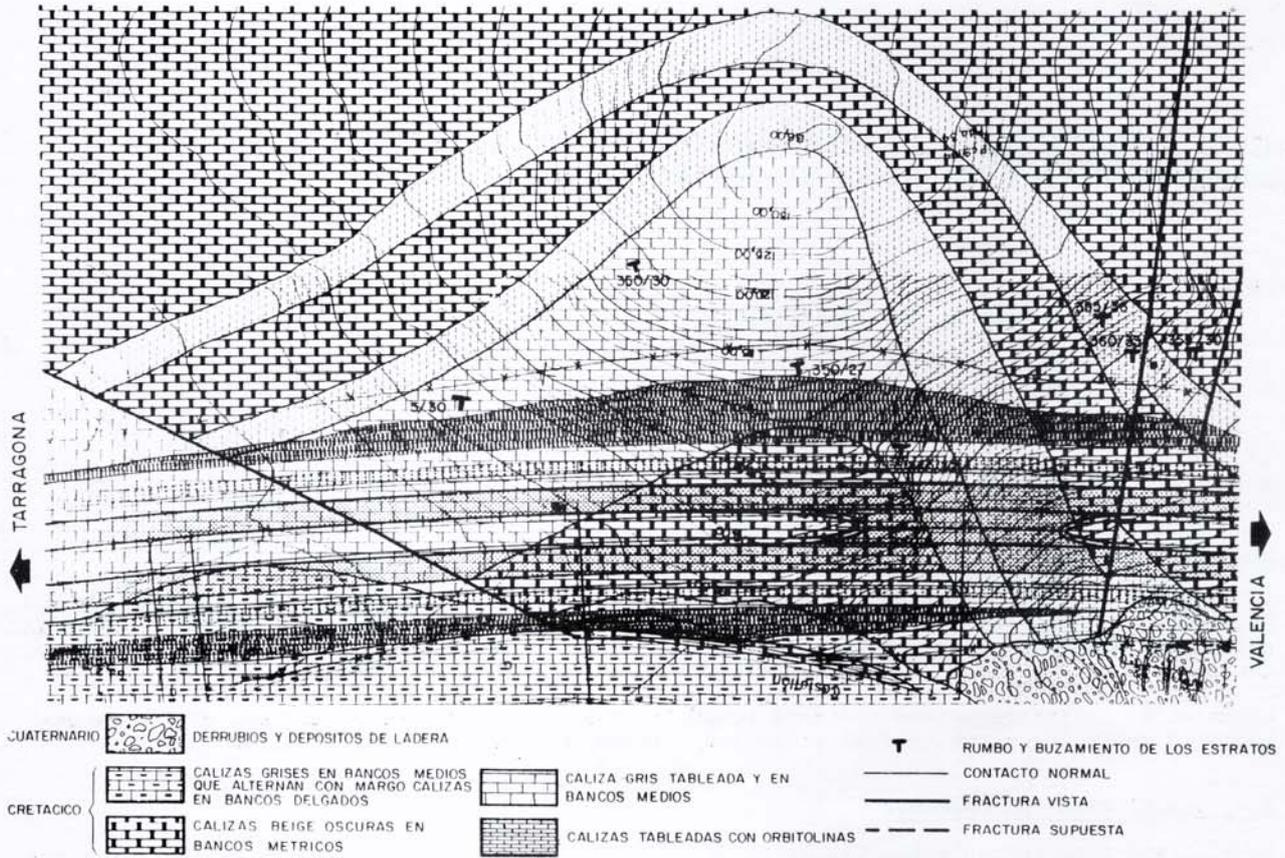


Fig. 1. Planta del desmonte

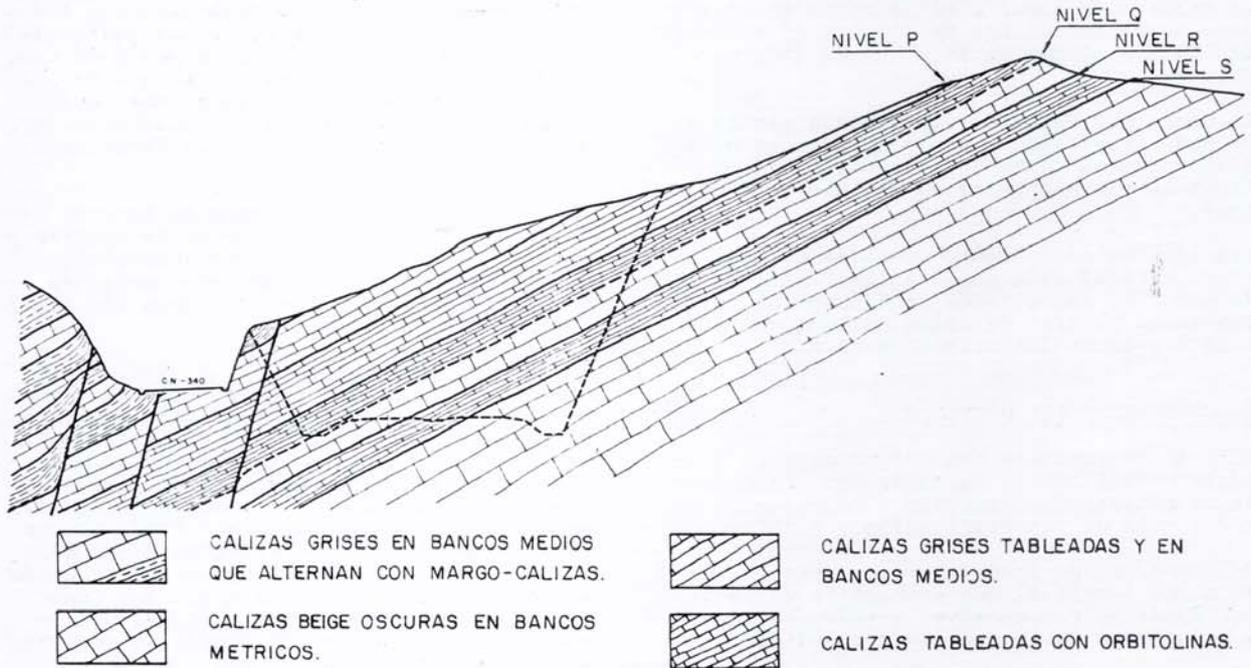


Fig. 2. Corte geológico transversal

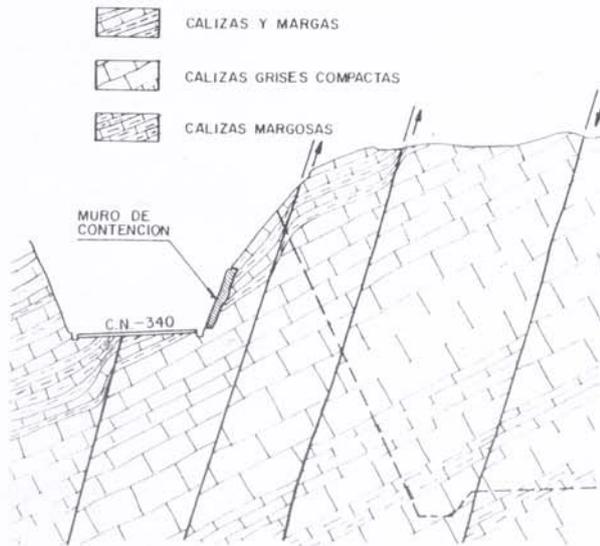


Fig. 3. Corte geológico de detalle en la C.N. 340

ni vetas margosas en dichos planos. Los buzamientos en dicho talud eran superiores por lo general a 35° .

El sondeo realizado tampoco detectó ningún estrato arcilloso o margoso, si bien a la vista del pequeño espesor (10 cm) de los que después han aparecido, era improbable detectarlos debido a que se lavarían con el agua de perforación, incluso con batería de tubo doble.

En estas condiciones, el mecanismo de rotura para el talud lado mar de la Autopista, era el de rotura a través de juntas de diaclasado, ya que el buzamiento de la estratificación era considerablemente inferior al ángulo de rozamiento supuesto (35°).

Así pues, del estudio probabilístico de rotura resultó un talud de $2H=5V$ para dicho lado.

No obstante, se hizo la observación de la necesidad de ir comprobando las hipótesis realizadas en el proyecto conforme la excavación progresaba y poder modificar los taludes a tiempo, si los nuevos datos así lo requerían.

Por otra parte, dado que el buzamiento de los estratos era importante, aunque se consideraba estable, se hizo un estudio comparativo económico entre la solución adoptada y las alternativas de excavar el desmonte con un talud de 30° o bien de recurrir a un anclaje de los estratos, por si el ángulo de fricción resultase menor.

La solución de excavar con talud de 30° era un 80% más cara que la diseñada. El anclaje del talud proyectado suponía un sobrecoste de un 50%. En el caso de ejecutar la solución proyectada, un posible tendido de talud supondría un aumento de un 120%.

Ante estos costes y a la vista del estudio geotécnico se decidió proyectar la excavación con un talud $2H=5V$.

SEGUIMIENTO DE LA EXCAVACION

Por conveniencias de obra, la perforación del primer banco comenzó en Noviembre de 1.976, aunque no se iniciaron las voladuras hasta el mes de Marzo de 1977, a partir del cual continuó sin interrupción la excavación de todo el desmonte. (Fig. 4.)



Fig. 4. Voladura en la excavación del primer banco

Desde el primer momento se controlaron las operaciones de perforación en el sentido de detectar cualquier anomalía en el avance del martillo que pudiese ser originada por algún fallo del terreno o estrato más blando. No se detectó en líneas generales ninguna anomalía, siendo uniforme la velocidad de avance y homogéneo el detritus obtenido de la perforación, lo que implicaba una homogeneidad de la roca en profundidad. (Ciertamente el pequeño espesor de las vetas margosas ahora descubiertas no hacía posible su detección con el martillo).

Las voladuras fueron diseñadas y realizadas utilizando técnicas de "voladura suave".

Conforme avanzaba la excavación del primer banco, de unos 14 m de máxima altura, se detectaron entre los 4 y 9 m de profundidad, cinco juntas de estratificación que tenían

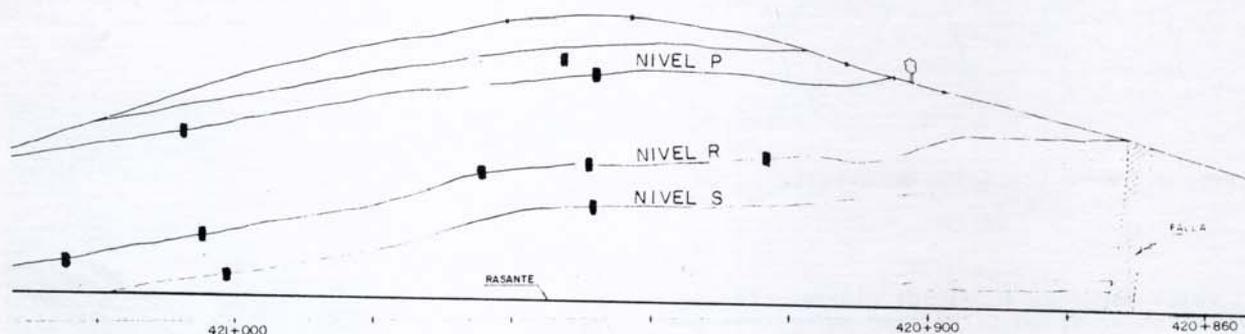
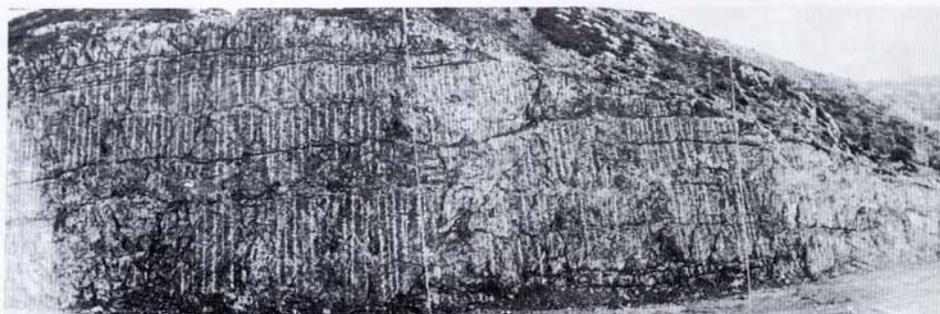


Fig. 5. Perspectiva del talud en la máxima altura con indicación de los niveles arcillosos replanteados y con la situación de los "detectores" colocados.

un relleno arcilloso (Fig. 5 y 6). Por una parte podía tratarse de niveles margosos - muy delgados pues en muestras tomadas se apreciaban fósiles de orbitolinas típicas de las margas de la zona; por otra parte podría tratarse de un relleno arcilloso procedente de una descalcificación de las calizas, perteneciendo los fósiles a las propias calizas de naturaleza margosa. Además dentro de estos niveles existían muchos fragmentos calcáreos englobados en la matriz arcillosa.

La humedad de las muestras se encontraba por debajo del límite plástico en todos los casos.

En el momento de la toma de las muestras había llovido días antes, y se notaban humedades en el talud, en los niveles mencionados.

En dicha fase de la excavación se apuntó la posibilidad de que la menor resistencia al corte a través de esas juntas de estratificación podría obligar a adoptar medidas estabilizadoras (anclajes) o a un descabezado del talud excavado con un talud de 30° por encima de la junta más baja que tuviese el relleno arcilloso.

Con la ayuda de medios topográficos se procedió a un levantamiento topográfico de los niveles mencionados para poder definir en caso necesario la rectificación del talud.

A partir de ese momento el ritmo de la excavación aumentó extraordinariamente.

a unos 15 m de profundidad apareció otro plano muy marcado de estratificación, pero prácticamente cerrado y sin relleno.

A 23 m de profundidad se detectó otro nivel margoso de un espesor algo mayor, (10 cm) que presentaba también humedades tras algún día de lluvias. Se procedió igualmente a su levantamiento topográfico.

En este nivel se observó que, aunque la continuidad a lo largo del desmonte era total, el estrato no era una superficie plana sino algo alabeada, en ocasiones quebrada y que en suma presentaba una macrorugosidad en esa dimensión, de amplitud mayor a la del espesor del nivel (Fig. 5 y 6).

Al llegar a este punto, dado que la continuidad de estos niveles, su naturaleza arcillosa (margosa) y la humedad que presenta-

ban podría traducirse en una disminución de la resistencia al deslizamiento a través de esas juntas cuyo buzamiento estimado inicialmente era de 30° , se consideró necesario ampliar el estudio de la estabilidad del talud y realizar un nuevo reconocimiento de la posición de los estratos con el fin de determinar con la mayor exactitud posible el buzamiento de los mismos.

RECONOCIMIENTO GEOTECNICO COMPLEMENTARIO

Mediante topografía se levantaron las juntas de estratificación que aparecían en el talud especialmente aquellas que tenían el relleno arcilloso y presentaban humedades tras las lluvias.

Igualmente se señalaron en la ladera puntos que pertenecían a un mismo estrato y se levantaron topográficamente.

En los hombros del desmonte se procedió a identificar y "casar" las juntas de estratificación aflorantes en el talud con los estratos marcados en la ladera, operación que resultó bastante dificultosa, teniendo que recurrir a fotografías y observaciones hechas desde puntos situados a una gran distancia (Fig. 7).

En la figura 5 pueden verse los niveles cartografiados en el talud y en el corte de la fig. 2 aparecen también indicados dichos niveles.

De esta manera se pudo obtener un buzamiento real representativo de cada estrato. Dado que las juntas de estratificación presentaban una superficie ligeramente alabeada en sentido Este-Oeste, se calculó un campo de variación del buzamiento uniendo cada punto de cada estrato de la ladera con cualquiera de la junta correspondiente en el talud. El problema se centró en los niveles P y R cuya definición en obra fue más precisa.

En resumen se puede concluir así:

- Desde la cima del montículo P.K.414+200 hacia el lado Valencia, los paquetes tienen un buzamiento prácticamente dirigido hacia la excavación, es decir, de 350° de dirección, y de un valor que oscila entre 24° y 27° .
- Desde el P.K. 414+200 hasta el P.K.414+150 los estratos buzan de 26° a $28,5^\circ$ en una dirección de 5° , es decir con una ligera componente hacia el lado Tarragona.
- A partir del P.K. 414+150 hacia Tarragona comienzan a incurvarse ligeramente y el buzamiento medio del nivel llega a ser de $30'5''$.

- A partir del P.K. 414+100 los buzamientos son algo mayores, pero el nivel R ya no aflora por el pie del desmonte. -
Fig. 6

NUEVO ANALISIS DE LA ESTABILIDAD

El problema se centró en si el ángulo de fricción a través de las juntas de estratificación era superior al buzamiento de los estratos.

En principio, la existencia de la veta margosa hace disminuir notablemente la resistencia al corte según esas juntas. No obstante, a favor de la estabilidad están los factores siguientes:

- El relleno arcilloso contiene fósiles de orbitolinas, arena, gravilla y fragmentos de caliza de tamaño apreciable, 3-4 cm, con lo que el ángulo de rozamiento propio de este material puede ser mayor.
- La humedad de las muestras tomadas de esos rellenos estaba siempre por debajo del límite plástico.
- Las juntas de estratificación tienen una rugosidad apreciable en las calizas; y una macrorugosidad y alabeo del orden de decímetros, si bien es más importante en sentido horizontal que según el buzamiento. El espesor del relleno no supera casi nunca el decímetro.
- Existe una cohesión, que por razones de seguridad no se introduce en el cálculo.

En estas condiciones se estimó, que el talud ejecutado debía ser estable, pero como las hipótesis en las que se basaba eran difíciles de comprobar numéricamente mediante experimentación en Laboratorio, y se estaba cerca de los valores críticos, se consideró necesario proceder a una instrumentación de la ladera y del talud, con vistas a detectar cualquier movimiento que pudiera producirse.

INSTRUMENTACION

La instrumentación para detectar los posibles desplazamientos, consta de las siguientes partes:

- 1) Una red de 17 hitos de hormigón situados en afloramientos rocosos en la ladera y sobre los distintos estratos que se distinguen.

Esta red se amplió colocando hitos en puntos que de antemano se sabía de su imposibilidad de moverse.

Los desplazamientos se miden por bisección observando los hitos desde dos bases fijas situadas al otro lado de la C.N 340.

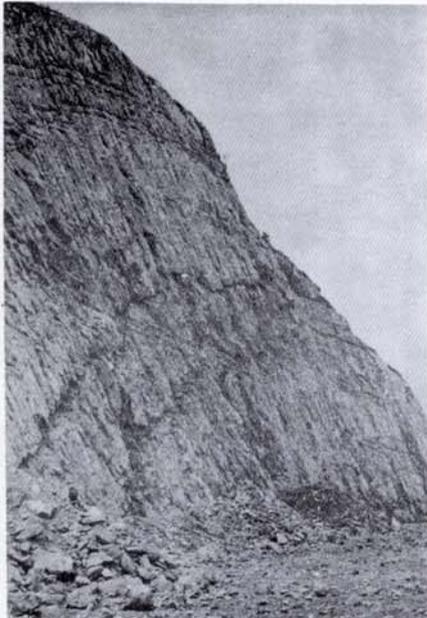


Fig. 6. Vista del talud en dirección Valencia. Los niveles R y S "desaparecen" a partir de este punto.



Fig. 7. Un momento de la excavación del segundo banco. Notense los afloramientos de los niveles diferenciados en la ladera.

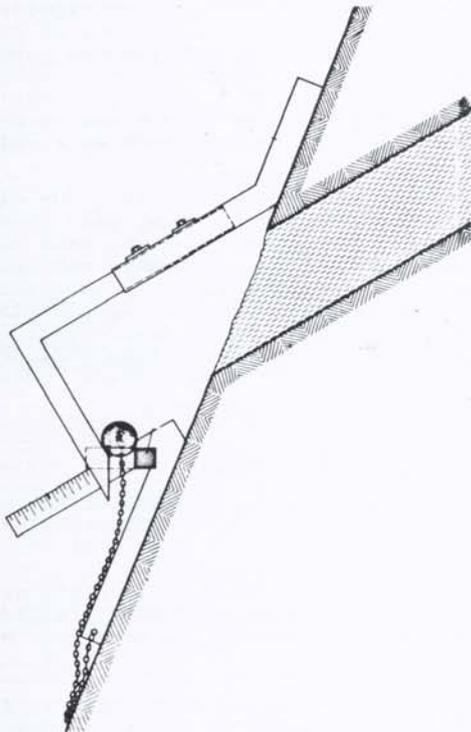


Fig. 8. Esquema del detector de deslizamientos.



Fig. 9. Detector colocado en el nivel R.



Fig. 10. Aspecto del cunetón de recogida de bloques alpié del talud en Abril 1982.

- 2) Unos detectores instantáneos de deslizamientos con posibilidad de lectura de la amplitud del movimiento. Son de un diseño sencillo, desarrollado a partir de la instrumentación convencional. Figs. 8 y 9.

Estos detectores constan de dos partes y cada una de ellas se coloca sobre los estratos que se crea puedan deslizar unos sobre otro.

Cuando se produce un movimiento relativo entre planos mayor de 5 mm. (magnitud que puede regularse) cae una bola y queda colgada de una cadena. Esta posición es perfectamente visible desde la calzada constituyendo un aviso, independientemente de la cadencia de lecturas de los hitos y del propio detector.

- 3) Testigo de yeso. Previamente a la colocación de los detectores, se colocaron unos testigos de yeso en puntos característicos entre estratos y utilizando las cañas de los barrenos como soporte. Cualquier movimiento entre estratos, marcará una grieta en el testigo.

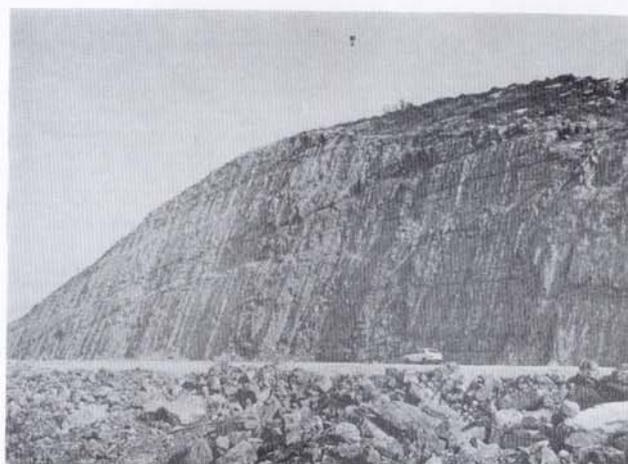


Fig. 11. Aspecto general del talud excavado visto desde el extremo Valencia

AUSCULTACION DEL TALUD

Durante los cuatro primeros meses (Agosto a Diciembre 1977) se realizó una observación semanal de la red de hitos sin detectar movimiento alguno que no cayera dentro de los márgenes de error del sistema de lectura. A continuación la auscultación pasó a ser mensual hasta el verano de 1978, y a partir de entonces la auscultación se espació algo más acentuándose no obstante, en períodos lluviosos.

Hasta la fecha no se han detectado movimientos significativos.

La observación de los detectores, por su mayor sencillez, ha venido realizándose con mayor frecuencia, sin detectar movimiento alguno. Tres de los aparatos han sufrido desperfectos por impacto de rocas o por defecto de sujeción del propio aparato o del bloque sobre el que se fijaban.

Gran parte de los testigos de yeso colocados en el talud, continúan en el mismo estado en que se colocaron y no aparece ninguna fisura en ellos. Otros se han desprendido por efecto de la meteorización.

El talud diseñado 2H=5V en base a las juntas de diaclasado ha resultado adecuado no habiéndose producido ninguna caída de fragmentos que no haya sido recogida por el cunetón de pie de talud. Fig. 10., lo que apoya la eficacia de este diseño con área de caída de bloques.

El aspecto del talud excavado es francamente bueno. Fig. 11.

CONCLUSION

El seguimiento de un desmonte durante su excavación y al menos en los primeros años de puesta en servicio se considera como una actividad imprescindible con el fin de comprobar las hipótesis establecidas en el proyecto y poder actuar a tiempo cuando existan divergencias desfavorables.

En el caso que nos ocupa dicho seguimiento detectó una serie de niveles arcillosos no previstos en proyecto y cuya presencia podía ser desfavorable frente a un deslizamiento por una junta de estratificación.

El consiguiente estudio complementario estimó que, aún habiendo cambiado las condiciones iniciales, la estabilidad del talud seguía estando razonablemente asegurada. No obstante se consideró necesario instrumentar el talud con el fin de detectar cualquier signo de deslizamiento.

La auscultación realizada hasta la fecha no ha observado movimientos significativos.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer a Autopistas del Mare Nostrum, Concesionaria de la Autopista Tarragona Valencia y a INTECSA, Empresa consultora para el proyecto y la dirección de obra, el permiso para la publicación de esta comunicación.

REFERENCIAS

- INTECSA (1974): "Proyecto de la Autopista de peaje Tarragona Valencia. - Sección II. Trozo IV. Anejo de Construcción" AUMAR, S.A.
- INTECSA (1976): "Informe geotécnico sobre el desmonte D.O. 421+000. Autopista de Peaje Tarragona- Valencia". AUMAR, S.A.
- HOEK, E (1970): "Estimating the stability of excavated slopes in opencast mines" Inst. of Mining and Metallurgy, vol n°79.
- HOEK, E. BRAY, J.W. y BOYD, J.M. (1968): "The stability of a rock slope - containing a Wedge resting on two intersecting discontinuities".
- JOHN, K.W. (1968) "Graphical Stability Analysis of Slopes in Jointed Rock" Journal of the Soil - Mechanics and Foundations - Division. ASCE. Marzo. Páginas 497-526.
- RITCHIE, A.M. (1964) Estudio de la caída de rocas y su control. Highway Research Record n°17.